

高校生物実験における探究の試み

県立村上女子高等学校 加 藤 信 行

県立村松高等学校 岡 夙 男

県立豊栄高等学校 海 藤 是 夫

I はじめに

高校生物における基本的科学概念の1つに、物質交代・エネルギー交代がある。このような概念は実際の授業にあたり、指導する教師が決してお題目のように唱えることではない。授業をうける生徒みずからが探究の過程をたどって、発見し、吟味し、思考してそれを構成していかなければいけないはずのものである。しかれば、探究の過程とはなんぞやということにもなるが、このことについては、すでにブルーナーをはじめ、諸処方で叫ばれているので、ここに再記しないが、とにかく、指導にあたる教師も、新しく脱皮をめざして、精進し、実践する余地がじゅうぶん残されているようである。

ここでも、主題に沿って、物質交代、エネルギー交代という基本的科学概念を中心にして、探究の過程を追求し、実践したので、報告する。なお、内容は次の3部からなりたつ。

○ 発芽種子の成長とそれにとりまう物質交代についての指導

(とくに測定とデータ処理を重視して)

発芽種子の成長を素材にして、筆者の自作した器具を使用させ、筆者自身も測定とデータ処理のもつ明確な意義のはあくにつとめながら、生徒と一緒に苦闘し、歩んだ道すじを細大もらさず記載した。生徒はこの実践研究にあたり、終始積極的に、しかも自主的に活動し、問題解決にせまったことを特筆大書する。

○ 尿の排出と恒常性の維持についての指導

従来、この内容はとおり一辺の講義だけですましてしまったところである。ここでは実験をとおして尿の排出が単なる老廃物の廃棄だけではなく、それによって体内の環境条件を一定に保つことに意義があり、またそれによって、たとえ有用なものであっても、一定量以上あるときは排出するということを指導した。この実験において、生徒は実に楽しそうに討論し、実験し、実証するという態度を示した。

探究の態度とはこのようなことを指すはずである。

○ アミノ酸からたんぱく質の生合成

(とくに放射性同位元素 ^{14}C をトレーサーとして用いた実験)

高校生物の教科書には、 ^{14}C などをトレーサーとして使用する生化学的内容が記入されているが、実際には、生徒はおろか指導にあたる教師まで、これに関しては非常に縁遠くなっている。ここでは、このような実験を実際体験する機会を設けて探究し、実践した。なお、県立豊栄高校は新設校のため、生物実験室の設備がないので、県立教育センターにおいて、この度のシリーズの関係者(加藤、岡、藤田ら)が実践研究にあたった。

II 実践例

1 発芽種子の成長とそれにもなう物質交代についての指導 ——とくに測定とデーター処理を重視して——

(1) ねらい

探究の過程の中でとくに測定とデーター処理(グラフ化)を取扱った実践例が少ないのは残念である。この原因について筆者は、まず測定を行なうにあたり必要な器具を購入したり作成したりするための経費が少ないことや、器具を工夫・作成し、それを使って実験を実施するための時間数が不足していることなどをあげたい。次に、最も本質的な原因であり、現場の教師が反省しなければいけないことは、教師自身が測定とデーター処理の意義を軽視し、それらを取入れた実験を工夫・実践する努力を怠っているためではないかとも考える。

このような理由から、筆者自身も測定とデーター処理の明確な意義のはあくにつとめ、また生徒にも測定とデーター処理(グラフ化)を体験させることにより、多少なりとも探究の態度を身につけさせることができると考え、ここに発芽種子の成長を教材にして今回の実験をくふう・実践してみた。なお、この記録は探究の試みであり、この実践によって得られた諸知識をもとにして、今後さらにこのような実験を改善し、発展させていくつもりである。

(2) 事前準備

大量に使用することを考慮し、小鳥の餌に使われていて、安価に購入できるヒマワリの種子を材料に選んだ。黒いビニール布とベニヤ板などで作った小型の暗室を直射日光の当たらない場所におき、その中で種子を発芽・成長させた。8月上旬から9月初旬までの平均温度は25℃、予備実験として調べた発芽率と成長率は良好であった。そこで、2日おきに種子をまき、発芽日数の異なる材料をできるだけ多量に準備した。

広ロビン、ゴム栓、直径3mmのガラス管、ビニール管、アメゴム管、ピンチコック、水槽、ベニヤ板などを用いて、簡易マンオメーターを6グループのため12組自作した。一定の生体重量または一定の乾燥重量あたりで、吸収された酸素ガスの量を計算することや、その重要性について高校1年生に指導するのは多少無理ではないかと考え、U字管には水銀やプロデュー液のかわりに、水で薄めた赤インク液を入れ、発芽日数の異なる材料について液が上昇した高さを一定の個体数で比較させ、成長が進むにつれて呼吸の強さがどのように変化するかを思考させることにした(図1)

(3) 実践記録

最初の実習時間には、ヒマワリの発芽日数の異なる明所発芽種子と暗所発芽種子を、それぞれ数個体づつ各グルー

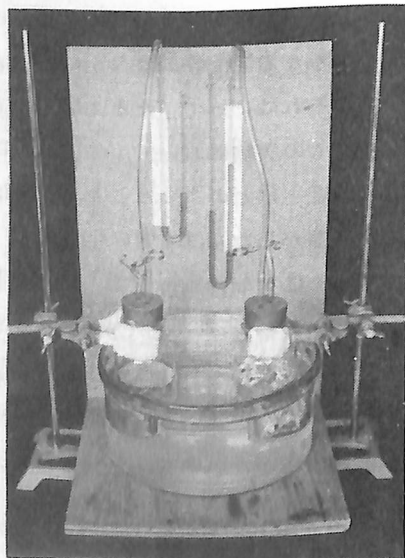


図1. 自作簡易マンオメーター

ブに与え，暗所発芽種子の特徴をまとめさせるとともに，問題を発見させた（質問1，2）。

質問1. 明所発芽種子と比較した暗所発芽種子の特徴を各グループで討論して，まとめよ。

（生徒がまとめた特徴）

- ① 子葉は黄色。（明所発芽種子の子葉は緑色を呈している。）
- ② 幼茎は細くて，長い。（明所発芽種子の幼茎は太くて，短い。）
- ③ 幼茎は白色。（明所発芽種子の幼茎は緑色を呈している。）
- ④ 根の発育不良。（明所発芽種子の根はよく発育している。）
- ⑤ 子葉はいつまでも開かない。（明所発芽種子の子葉はすぐ開く。）

ほとんどのグループは①と②についてのみあげ，③～⑤の特徴をまとめたグループは少なかった。またほとんどのグループは，表を用いてまとめているが，表を用いる意義については不明のことが多い。そこで，表を用いることはどのような利点があるのかを質問し，一目瞭然に理解を助けるという利点を認識させた。

質問2. 以上の観察と討論を通じて，何か疑問に思ったことはないか。問題を各グループでまとめよ。

（生徒がまとめた問題）

- ① 暗所発芽種子の成長がいちじるしいのはなぜか。
- ② 暗所発芽種子の幼茎が細長いのはなぜか。
- ③ 暗所発芽種子の子葉はなぜ黄色なのか（なぜ暗所ではクロロフィルが合成されないのか）。また黄色のもとになっている物質は何か。
- ④ 暗所発芽種子を明所に出したら，子葉は幼茎は緑色になるか。
- ⑤ 暗所発芽種子の子葉が開くのが遅いのはなぜか。

暗所発芽種子の成長がいちじるしいという事実を，具体的にデーターで明示するにはどうしたらよいか質問し，各グループで討論させた。各グループの班長にその結果を順次答えさせた。答はすべて，植物の体長を測定し，それが発芽日数とともにどのように変化するかを調べることであった。そこで，体重の増加や体物質（たんぱく質など）量の増加を測定してもよいことを説明し，成長とは体長，体重，体物質などがます現象であることを認識させてから，準備しておいた材料を，発芽日数をかえたものを各グループに与え，体長（幼茎の長さ）を測定し，各グループの結果を黒板に用意した表に記入し，表を完成させよ。（生徒がまとめた結果を表1で示す。）

表1. ヒマワリにおける発芽日数と幼茎の長さの関係（平均温度約25℃）

グループ	発芽日数（日）	調べた個体数（個体）	幼茎の平均の長さ（cm）
1	3	21	0.9
2	5	29	5.9
3	7	35	6.9
4	9	14	8.9
5	11	6	10.6
6	13	12	14.0

質問4. データーをとる材料について、どんな注意をしたか。

(生徒がまとめた意見)

根の長さは、途中で切れたりするため、非常に不規則なので、幼茎の長さで材料を大・中・小にわけ、著しく大きなものや小さなものを省いた。また、長さがだいたい同一のものを選び、そのようなものについてのみできるだけ多数測定した。

実習中生徒どうしの話し合いでは一番長いものを数本測定するという意見が多かった。実際2・3本だけ測定して結果をだしている班があった。実習が計画より遅れたためと材料の選択やまき方が悪かったため、発芽日数が進んで材料が腐れ始めたので、2、3のグループにはあまり好ましくない、わずかの材料しか与えることができなかった。そのためデーターも変則的な値となったので、前述の原因を説明し、実験を始める前に材料の選択にじゅうぶん注意することが大切なことを付け加えた。しかし、これは説明におさえて、むしろ変則的な値が生じた原因を考えさせたい。

質問5. データーをできるだけ多数とり、平均値を求めるのはなぜか。

(生徒がまとめた意見)

少数のデーターだと、あるグループは長いものばかり測ったり、あるグループは短いものばかり測ったりするので、各グループの値がまちまちになり正確なグラフを画くことができない。しかし、多数測定することによって長すぎたものと短かすぎたものの値が打消しあって、丁度平均的な値がでるから、各グループの値を比べることができる。

次に、表1のデーターをもとにして、縦軸の目盛と横軸の目盛の間隔の比が異なる3つのグラフに成長曲線をかかせた。そして、グラフの書きかたにより結果が異なってしまうこと、成長の特徴(成長曲線)がS字状になることとその意味を理解させた(質問6・7)。

質問6. 表1のデーターを用いて、縦軸と横軸の目盛のとり方が異なる3つのグラフに成長曲線をまとめよ。

(生徒がまとめた結果を図2で示す。)

質問7. 植物(幼茎)の成長にはどんな特徴があるか、3つのグラフをもとにして説明せよ。

(生徒がまとめた意見)

Aのグラフからは、発芽後2・3日はあまり成長しないが、その後どんどん成長をつづけることがわかる。Bのグラフからは、発芽後2・3日はほとんど成長せず、その後成長が急激に活発に行なわれる。ある程度まで成長すると、再び成長が衰え、少しづつ成長を続ける。13日目の変則的なデーターを除けば、成長曲線はS字状になる。

今度は、成長曲線をもとにして、2日間に成長した幼茎の長さ(成長率)のグラフを画かせ、前のグラフでわかったことをより明確にさせた。またグラフをいろいろ工夫することによって、新しい事実を発見できることを理解させた。すなわち、成長曲線と成長率のグラフについて考察させ、グラフ化の長所を討論させた(質8・9)。

質問8. 幼茎が2日間に成長した長さ(成長率)のグラフをかけ。

(生徒がまとめた結果は図3で示す。)

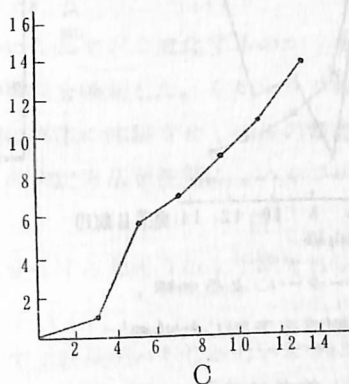
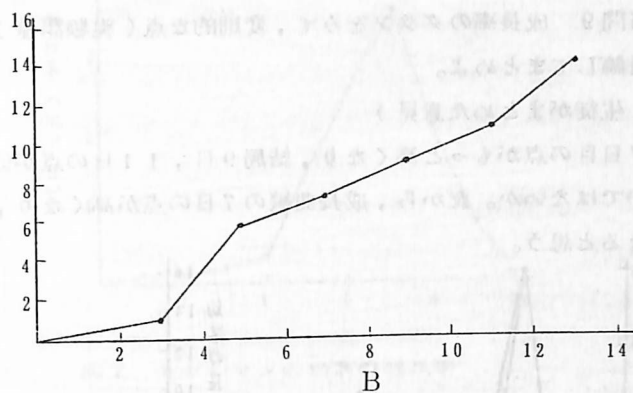
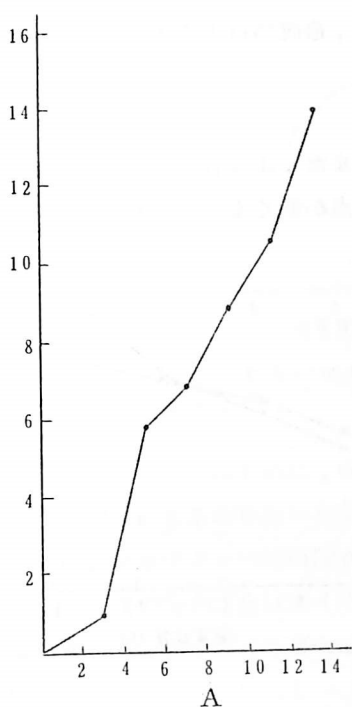


図2 縦軸と横軸の目盛の関係

ヒマワリの幼茎の長さ（cm）と発芽日数の関係

縦軸：幼茎の長さ（cm） 横軸：発芽日数（日）

Aは縦軸の目盛を疎に、横軸のそれを密にしたもの、

Bはその反対、Cは線の傾を大体45°くらいにしたもの

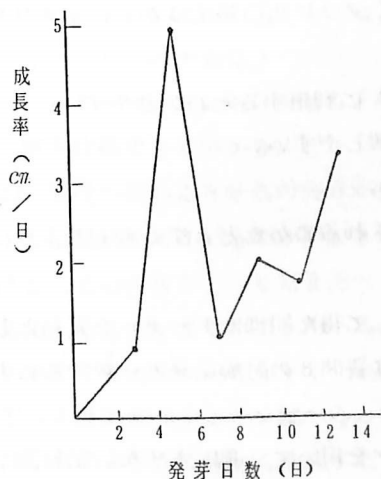


図3 ヒマワリの胚軸の成長率曲線

成長率については詳しく説明したが、図の書き方については指導せず、図を正しく書けるかどうか調べてみた。その結果、すべての生徒が縦軸に成長率、横軸に発芽日数を正しくとっている。しかし、目盛のとり方が悪いため図が小さいすぎたり、大きすぎたりして見にくいものが多かった。そこで、それらを適当なものと比較させ、図のかき方について、注意事項をまとめさせた。また棒グラフで表わす生徒が1組あたり10人ほどあるが、筆者が図表の種類とその効果について熟知していなかったため、棒グラフの是非については説明しなかった。しかし、ここである時間における変化の状態を示す図表（経過図表）にはいろいろな形式があるが、棒グラフでは連続した変化の感じがよくでないので、折線グラフのほうが好ましいことを説明し

た。

質問9. 成長率のグラフをみて、変則的な点(実験誤差)を発見し、最確値はどうなるか各グループで討論してまとめよ。

(生徒がまとめた意見)

7日目の点が高くなり、結局9日、11日の点が低くなる。また、13日の点はずっと低くなるのではないか。だから、成長曲線の7日の点が高くなり、13日の点が低くなり、成長曲線はS字状になると思う。

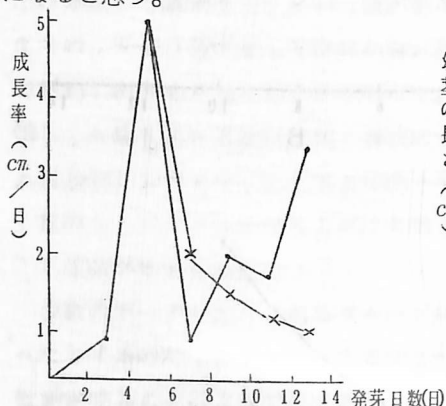


図4. 成長率曲線

●—● : データーによる曲線,

×—× : 最確値を予測した曲線

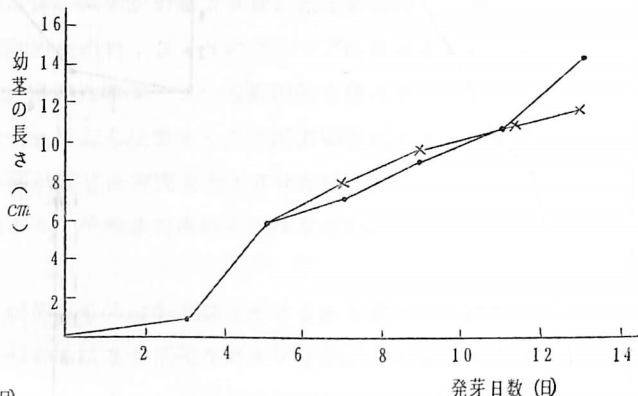


図5. 成長曲線

●—● : データーをもとにした曲線,

×—× : 最確値を予測した曲線

残念なことに、筆者がデーター処理(グラフ化)の意義を熟知していなかったので、誤差を生じた原因が何であるか、またその原因を除去し、できるだけ正確な値を出すにはどうしたらよいかを考えさせなかった。(質問 それではなぜこのような誤ったデーターが得られたのか、また正確なデーターを得るにはどうしたらよいか。)というような質問を与え、討論させたなら、指導効果はより上ったものと考ええる。

質問10. 今までの勉強から、グラフを画かくとどんな便利な点(グラフ化の長所)があると思うか。

(生徒がまとめた意見)

- ① 変化が1目瞭然となる。多くの数字(データー)を考えるとときに利用するとわかりやすい。
- ② 実験の目的、例えば今回の実験でとり上げた成長の概念を理解しやすい。
- ③ データーの誤りを発見し、正しく実験の目的を理解できる。
- ④ なぜこうなるのか、またその結果から最初の問題がどう解決されるのかなどと深く考えるようになる。

グラフの結果が良く出なかったので、筆者がモヤシマメを材料にして得た同様なデーターを資料として配布し、成長曲線・成長率のグラフを画がさせた。その結果生徒は質問8の討論結果と一致することをみいだした。(図6・7)

最後に測定した材料を子葉と幼茎にわけ、生体重量を直視テンピンを用いて、測定させた。記録後、錫ハクにつつんで電気乾燥器に入れ、放課後デシケーターに入れさせることにして、最初の2時間続き

の実習は終了。

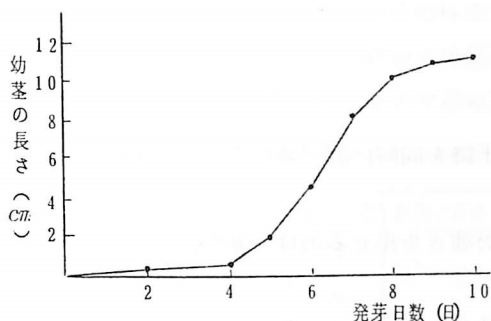


図6. モヤシマメの幼茎の成長
曲線 (25°C)

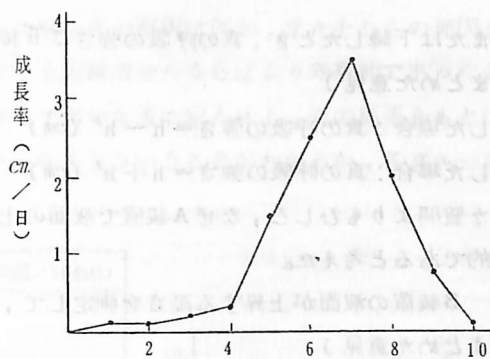


図7. モヤシマメの幼茎の成長率
曲線 (25°C)

2回目の実習時間のはじめに、呼吸の強さは成長が進むにつれてどう変化するのか、また物質交代とどのような関係にあるのかという問題をなげかけ、生徒の興味を喚起した。(ヒマワリの幼茎と子葉の乾燥重量の測定とグラフ化は時間がなくて省いたが、生徒に実際に体験させ、成長の概念を物質交代、エネルギー交代の視点からはあくさせたい。)呼吸の強さの測定方法を生徒に、いくつか質問をしてその討論を通じて、測定方法をまとめさせてみた。

質問1 1. 呼吸の強さは成長が進むにつれてどのように変化すると思うか、予測をし、まとめよ。

(生徒がまとめた意見)

成長曲線と平行な関係、すなわち呼吸の強さは最初弱くて、成長がいちじるしいときに強く、成長がおとろえるとまた弱くなる。

質問1 2. 上記の予測を机上に用意しておいた実験装置で確める。Aには材料を入れない。Bには材料を入れ、小ビンに KOH 溶液を入れる。A, Bとも水槽の水にじゅうぶん深くつける。水温はグループごとに違いがあってもよいのか、わるいのか。その理由も述べよ。

(生徒がまとめた意見)

① グループごとに条件が違うと、各グループの測定値を比較できないから。

② 温度が変わると呼吸の強さが異なり、各グループの測定値を比較し発芽日数と呼吸の強さの変化との関係をまとめることができない。

ほとんどの生徒が①の意見を述べている。水槽を用いる理由を理解し、②の意見を述べる生徒はまれである。そこで、なぜ水槽を用いるのかという質問のほうがより効果的であると考えた。ほとんどの生徒が不要な要因を除外したり、一定にしておいて、ある1つの条件を変化させたとき、測定したい条件がどのように変化するかを調べるという考え方を明確にはあくしていない。しかし、教師が説明するよりは、このような体験をくり返すことで、除々に身についていくのではあるまいか。

質問1 3. もしB装置の②側の液面がh cm上昇して(みかけの呼吸の強さ)、A装置の①側の液面が

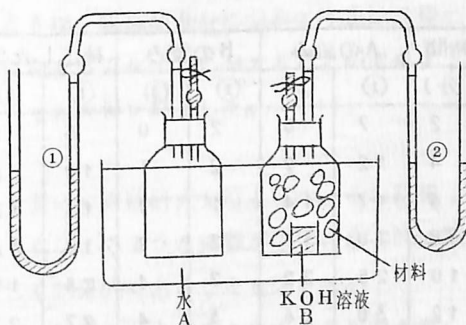


図8. 実験装置の略図

h' cm 上昇または下降したとき，真の呼吸の強さは B 装置のどれだけの液面の高さで示されるか。

（生徒がまとめた意見）

h' cm 上昇した場合：真の呼吸の強さ $= h - h'$ (cm)

h' cm 下降した場合：真の呼吸の強さ $= h + h'$ (cm)

このような質問よりもむしろ，なぜ A 装置で液面上昇，下降を同時に調べるのかという質問のほうがより効果的であると考えた。

質問 14. B 装置の液面が上昇する高さを測定して，呼吸の強さを出せるのはなぜか。

（生徒がまとめた意見）

呼吸の際のガス交換は，酸素を吸収して二酸化炭素を放出することである。放出された二酸化炭素を苛性カリ溶液に吸収させると，吸収された酸素の量だけビン内の圧力がへるので，液面が上昇する。呼吸の強さが強くなるほど，吸収される酸素の量は多くなるから，一定時間内に上昇する液面の高さは呼吸の強さに比例して高くなる。

以上で討論を終え，測定と記録を行なわせた（図 9）。材料は 1，2 グループがヒマワリ，ほかのグループが市販のモヤシマメを使用した。記録結果をもとにして，外そう法により 50 個体あたり 1 時間に上昇した液面の高さを求めさせた。

（生徒の記録例）

(1) 1 年 1 組 6 グループ（材料：モヤシマメ，発芽日数 6 日目，使用個体数 100 個体，水温 $19 \pm 1^\circ\text{C}$ ）



図 9 実習風景（呼吸の強さの測定）

時間 (分)	A の読み		B の読み		補正した値	
	①	②	①	②	①	②
2	7	5	2	0	5	5
4	12	9	2	1	10	8
6	17	14	1	1	16	13
8	20	18	2	2	18	16
10	25	22	2	4	23	19
12	30	26	3	4	27	22
14	34	30	4	4	30	26
16	38	35	5	5	33	30
18	43	38	6	5	37	33
20	45	42	6	6	42	36

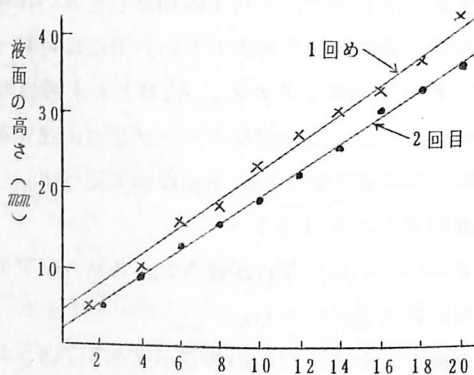


図 10 液面の時間的経過

計算：20 分間に上昇した液面の高さは 1 回目 36 mm，2 回目 34 mm である。平均値 $= 35$ (mm/20 分/100 個体)。よって，50 個体あたり 1 時間に上昇する液面の高さは， $35 \times 3 \times \frac{1}{2} = 52.5$ (mm/1 時間/50 個体) である。

得られたデータをもとにして，外そう法により 1 時間に上昇した液面の高さを求めさせることは困難であった。また筆者もその意義を明確にはあきしていなかったため，不完全な指導に終った。なぜ多数の点を結ぶように直線を引くのか，直線からいじりしく離れた点（データ）が得られた原因は何

か，1回目と2回目のデーターが著しく異なった場合その原因は何か，またそれらの原因を除去するにはどうしたらよいか，原点を省くのはなぜかなどを討論させたならばより効果的であったと思う。

質問15. 各グループの計算値を黒板に用意しておいた表に記入せよ，表の結果をもとにして，呼吸の強さと発芽日数の関係をグラフで示せ。グラフからどういうことがわかるか，各グループで討論せよ。

(生徒がまとめた表と意見)

グループ	材 料	発芽日数	液面の高さ (mm/1時間/50個体)
1のA	ヒマワリ	3	29
1のB	"	9	45
2のA	"	9	39
2のB	モヤシマメ	4	51
3のA	"	6	54
3のB	"	6	62
4のA	"	6	61
4のB	"	6	61
5のA	"	7	73
5のB	"	7	76
6のA	"	6	66
6のB	"	6	53

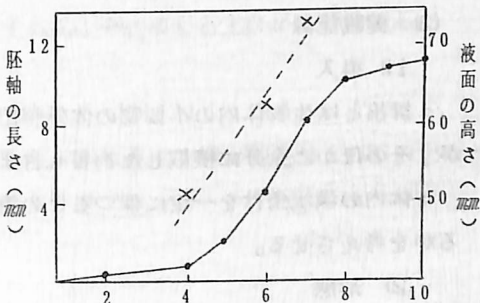


図11. モヤシマメの呼吸の強さと発芽日数の関係 ●—●：成長曲線，
×—×：呼吸の強さ

生徒の意見：発芽日数4日～7日までの成長が活発なときは，成長が進むにつれて呼吸は活発になる。市販のモヤシマメを使用したため，発芽日数が異なる材料を各グループに与えることができず，顕著なデーターが得られなかった。レポートを提出させ，すべての実習を終了した。

(3) まとめ

- ① 探究の過程の中でとくに測定とデーター処理に重点を置いて実践研究を行なった。その結果，筆者が測定とデーター処理の意義を明確にはあくできなかったことと，このような実験が生徒に自主的に基礎的な概念を理解させ，探究的な態度を育成させるのに著しく効果的であることを知った。
- ② 生徒は従来の実験と比較して，観察もていねいに，その問題点もよくまとめることができた。また，成長の多くの質問に関して，楽しいふんいきで活発に討論し，教師が指導したい内容はもちろん，そのほかのすばらしい意見をまとめた。例えば実験誤差と最確値の推測，グラフ化の意義などはその最たるものである。なお，次回はこのような誤差を生じた原因を考察させ，その除去や減少の工夫，また，その実証などへも発展させたいものとする。
- ③ 生徒の主体性を尊重したつもりであったが，筆者の経験と知識の不足から教師の意見や指導が加わりすぎたこと，例えば教師が意図する問題が出てこない場合，教師が事前に準備しておいた問題を生徒におしつける結果となり，かえって生徒の自主的な探究の阻害したようである。生徒が発見する問題と教師が指導したい問題をどのように関連づけて，内容を深めてゆくかが今後の課題となった。

2 尿の排出と恒常性の維持についての指導

(1) ねらい

動物の排出は単に老廃物の廃棄だけではなく、それによって体内の環境条件を一定に保つことに意義がある。そのために、たとえ有用なものであっても一定量以上あるときは排出することを理解させる。

動物体の排出が体のどの部分でどのように行なわれているかを実験・観察をとおして理解させるとともに与えられたデーターを解釈する能力を育成する。

(2) 実践記録

1) 導入

。排出とは生物体内の不要物の体外移出である。不用物は物質交代の結果生じた分解産物が主であるが、そのほかに余分に摂取した物質も含まれることに留意させる。

。体内の環境条件を一定に保つことの意義に関連して、体内における環境要因にどのようなものがあるかを考えさせる。

2) 形態

各クラス47名で構成されている。男子2名と女子2名の4名で班を編成し12班ある。女子が数名多いので女子だけで1班を編成するところもある。4クラス実践したが、3クラスは50分授業でほかは2時間続きで100分授業である。

3) 実験

① キンギョ(ヒブナ)のじん臓の構造とはたらき

。材料。ヒブナ(体長5cm~10cmくらいのもの)

。器具と薬品。顕微鏡 スライドガラス カバーガラス ピンセット ハサミ シャーレ(5組) 注射器(2ml) 注射針($\frac{1}{2}$) 生理食塩水 フェノールレッド(0.002%水溶液) ジニトロフェノール水溶液 アルコール(30%) ヘマトキシリン 染色液

。操作。(i) シャーレ4個に20ml位づつ生理食塩水を入れる。

(ii) 各シャーレをA, B, C, Dと区別する。(図1)

(iii) Cのシャーレにフェノールレッド1ml, Dのシャーレにジニトロフェノール1mlとフェノールレッド1mlを入れる。

(iv) ヒブナよりじん臓を摘出しAに入れる(図2)

(v) Aに入ったじん臓をハサミで細かく切る。次に注射器に入れて押しだす。2~3回行ったら注射針をつけて同様に静かに押しだしじん臓の破片をつくる。

(vi) じん臓の破片をB, C, Dに入れる。

(vii) Bのものはスライドガラスにとりカバーガラスを軽くかけて顕微鏡で観察してスケッチする。

(viii) C, Dのものは30分後にとり出し検鏡する。

(ix) 30%アルコールをシャーレにとり、じん臓の破片を入れ、約10分間ヘマトキシリン液の中

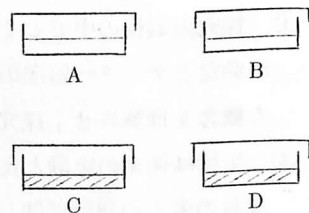


図-1

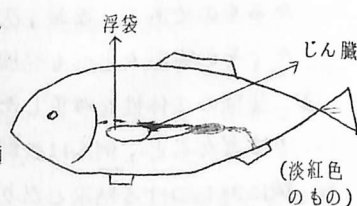


図-2

に入れる。ヘマトキシリンに約10分入れたらじゅうぶん水洗して検鏡する。

② ヒトの尿の検査(男子のみ2名1組で行なう)

。器具と薬品。ピーカー(尿を採取する) 尿比重計 温度計 管ビン(比重測定のため) コンビステイックス(尿中pH ブドウ糖 タンパク質同時検査用試験紙)

。操作。(イ) ピーカーに尿を約50mlとり、その中にコンビステイックスの試験紙の印がついてるところまでひたす(約10秒) 比色表で試験紙の色調変化を読みとり記録する。

(ロ) 細長い管ビンに尿をとりその中に比重計を入れて比重を測定する。この場合泡がつかないように注意すること。同時に尿の温度を測定する。温度補正をする式に測定値をあてはめて補正する。

温度補正の式

$$d'(15^{\circ}\text{C}) = d + \frac{t - 15}{3.000}$$

15℃で測定する。 d は比重計の読み t は温度℃ 15℃以外の場合は、測定温度が15℃以上のときは3℃につき0.001を加え、15℃以下のときは0.001を減ずる。

4) 生徒の実態と結果

。じん臓の構造とはたらきについて

操作(イ)のじん臓の摘出ができにくい。ヒブナのじん臓がどこにあるか、どの色の内臓がじん臓であるかわからなくて時間を浪費していた。したがってC、Dのシャーレ内にじん臓を入れておく時間が不足して、C、Dにおける相違点は全く結果がだされていない。

じん臓の構造については、細尿管が長く連続していることを見て驚いていた。ヘマトキシリンにより染色して見ることにについては、染色しすぎて染色の意味をなくしたものが多かった。

1時間の実験をしたクラスでは、じん臓の構造を顕微鏡で観察するだけでそのほかのことはなにもできなかった。2時間連続授業の場合は、最後の結果の処理までじゅうぶんな時間的な余裕がとれた。

。ヒトの尿検査について

各組における結果を表1で示す。実験は男子2名のうち1名が尿の提供者となった。その際無理に提供させられた者は戸惑いを感じて困惑した反面、好奇心から楽しそうに検査を行っていた。なお試験紙による反応は速く結果が出るので便利である。比重測定については、比重計が1本だけなので測定に時間がかかりすぎるきらいがあった。しかし数値の読みとり方法を知れば、操作は簡単であった。

5) 結果の考察

実験後の最初の時間に各個人のデーターとほかのクラスのデーターも整理して生徒に示した。そして実験中に疑問に思ったことや、データーを見て考えられることについて発言させ、そのような疑問を解決するにはどうすればよいか。データーのもつ意義やいろいろの推論を確かめるにはどのような方法があるかについて討論させ、最後にそれらをレポートにしてまとめさせ提出させた。その中からいくつかをとりあげて記載する。

。生きた材料(ヒブナ)を使用する理由について

じん臓の構造だけを観察する場合は死んで固定してもよいが、機能について知る場合は生きている状態と同じでなければならぬと思う。また、生理食塩水を使用する意味もそこにあると思う。

。この実験の目的と方法との関連性について

この実験を行なうにあたり従来のように，その実験の目的，方法といった形式をとらないで，実験の手順を示しただけで行なったために生じた問題のようであった。そのために成績が比較的上位の生徒からは，レポートにおいて実験のストーリーに不満をもらしていた。これは各薬品がどんな作用をもっているのか，ヒブナから抽出した蔵器のもつ機能や男子の行なっている尿検査のもつ意義は何かなどについて再考するように指示した。

。実験内容でCとDのシャーレは入れた薬品が異なり，その結果異なる結果がでるはずなのにその相違点がでてこない。実験結果はどうなるのが正しいのか，どんな結果がでるはずであったのか。私達の班は実験に失敗したのだろうか。などについては，各組においてCとDのシャーレの相違点はまったくなく，ジトロフェノールはATPの生成を阻害する物質であること，フェノールレッドはpH 6.8（黄色）～8.4（赤色）の範囲で変色すること。魚の尿の主成分は何か，それは酸性かアルカリ性かという順序で説明を加えた。生徒は結果として色の濃淡に差がでるはずであり，じん臓における尿形成過程でATPを使用する，すなわちエネルギーを使う部分があるはずなどと推論していた。しかしこの推論を確かめる方法についてはシャーレをよく洗い，薬品を正しくつくり同じ実験を数回くりかえして行なうことなどと付加しておいた。

表一 1. ヒトの尿検査の結果

班番号	たん白質	糖	P H	比 重	温 度	備 考
1	+	—	6	1.020	26.5	昼食後約30
2	+	—	7	1.025	26.5	分で採取し
3	100	—	4	1.030	26	たもの。
4	+	—	6	1.030	26	
5	+	—	6	1.015	27	タンパク質
6	+	—	6	1.030	27.5	100は単位
7	+	—	6	1.030	26.5	mgである
8	+	—	6	1.020	26.5	
9	+	—	6	1.025	26	—は陰性
10	+	—	6	1.025	26	十は痕跡
11	+	—	6	1.020	25	
1	—	—	6	1.020	25.5	朝食後3時
2	+	—	6	1.025	23.3	間で採取し
3	+	—	6	1.025	24.0	たもの。
4	+	—	6	1.015	24.0	
5	—	—	7	1.020	25.0	
6	+	—	6	1.025	22.5	
7	+	—	6	1.020	23.0	
8	+	—	6	1.020	24.0	
9	+	—	6	1.020	25.0	
10	—	—	6	1.020	23.0	
1	—	—	6	1.025	26.0	朝食後2時
2	+	—	6	1.030	24.2	間で採取し
3	+	—	6	1.025	25.5	たもの。
4	+	—	6	1.025	24.0	個人により
5	—	—	6	1.025	25.0	運動量に差
6	—	—	6	1.005	24.5	がある。
7	—	—	7	1.025	25.0	
8	+	—	6	1.020	25.0	
9	—	—	6	1.025	24.0	
10	—	—	7	1.020	26.4	
11	—	—	6	1.025	24.5	
1*	+	—	6	1.020	26.5	食後1時間
2	—	—	6	1.020	28.0	くらいで登
3	+	—	7	1.010	27.0	校後すぐ採
4	+	—	7	1.015	25.0	取したもの
5	—	—	6	1.025	27.0	1班と6班
6*	+	—	6	1.020	27.0	のものは4
7	+	—	6	1.025	26.5	人の混合尿
8	—	—	7	1.020	26.5	
9	—	—	6	1.020	28.0	
10						

○ ヒトの尿検査の結果について

生徒のもった予測をまとめて表にして示す(表2)

	表一 1の結果から	予 測	予測を確かめる方法
たん白質について	5組は全員+ 他の組には+と-がある	5組は食事より30分しかたっていないので、体内によく吸収されずに排出された。他の組は食後の時間が長かったためと考える。	2人に食事をさせて、食事中、食後一定時間ごとに尿をとり検査する。食事内容や、運動量をかえて検査する。
糖について	全員-である	糖はじん臓で吸収されてしまっ て排出されなかった。じん臓炎 の人に糖尿がでることからじん 臓の機能と推定する。	糖分を摂取する量をかえて尿にお いて糖が-になるかどうか調べる。
pHにつ いて 比重につ いて	平均にpH=6で あるがなかには7 や4の人がいる。 平均1.025でなか には1.030や 1.005の人もある。	食事内容の相違で植物性食品を 多くとるとアルカリ性、肉食で 酸性になるのだろう。 摂取するタンパク質の量やその 他の物質によって違うのではな いだろうか。	食事の内容に肉食品をとる、植物 性食品をとる、普通の人と3人を とりくらべて調べてみればよい。 たん白質の摂取量をかえてみる。 水分を多量に飲んで比重の変化を 調べてみる。

(3) まとめ

教科書(教育出版)では「動物の器官系とそのはたらき」の項目で消化、呼吸器管、循環系、排出、調節、感覚、運動の順序で学習する。排出では原生動物からセキツイ動物までの排出器の発達、ヒトのじん臓の構造とはたらき、水分の排出と調節、窒素化合物の排出などの説明をする。例年講議だけで実験はまったく実施しないところであった。ここではこの実験とその後の討論形式に展開した授業において、生徒は楽しく、授業中であるということさえも忘れたかのようにのびのびと発言していた。これが探究の過程の第1歩ではないかと痛感した。なお指導の素材は生徒の身近にあるものを選び、生徒のだす疑問に耳をかたむけ、生徒自身で予測しそれを確かめていくように根気強く指導したいものと考えるが、現実には時間数の問題、教科書にもられた内容が多すぎるなどの問題点が山積み思うようにいかな
いのが現状である。ここでもこのようなことが準備ふじゅうぶんとなってあらわれてきた。今後反省すべき点の1つであると考え。また、生徒のもつ予測を実証するための実験ができなかったこと、尿成分の分析まで行ないたいと考えたがここでは無理であったこと、さらに尿形成からオルニチン回路との関係がふじゅうぶんだったこと、尿検査と運動、食事の内容などについての対照実験が実施できなかったこと、など数えあげればきりがなが、いろいろ今後改善していきたいものである。

3 アミノ酸からたんぱく質の合成

—— とくに放射性同位元素 ^{14}C をトレーサーとして用いた実験 ——

(1) ねらい

生命現象をより正確に、より深いその本質において理解するにあたり、その基本的な概念のいくつかは生化学分野に存在する。したがって生化学的内容がますます多く教科書にとり入れられるようになってきたし、またこれを重要視しなければならないことにもなる。しかし一般にこの分野は生徒にとって直接経験のしにくいところであり、身近な現象としてとらえにくい傾向にもある。これはその内容がむずかしく、やゝもすると生徒の理解では追いつけないことともに克服していかなければならない問題と考える。歴史的にみて、生化学反応の基本的概念の形成には、ほとんどそのすべてに放射性同位元素が使用されてきた。したがって、ここではこのような先達の歩んだ生化学的知見の過程を生徒に若干でも触れさせることができるならば、基本的代謝過程の概念についての理解を一層深め、このことが広くほかの生化学及び分子レベルの内容についての一般的理解への転移となり得ると考え、またこれが生徒の探究の過程を重視し、探究する態度の育成へとつながるのと考えたからである。

以上の一般的ねらいのほかに、この実験の具体的な目標として次のことをあげる。

- ・生体内にとりこまれたアミノ酸はたんぱく質へと合成されること。
- ・分画することにより、細胞内物質の分離及び抽出ができること。
- ・放射性同位元素を標識物質として用いることにより、反応過程（ここでは初めと終りの物質だけであるが）を追跡できること。
- ・放射性同位元素を正しく、安全に実験に使用できること。
- ・放射能活性を（できれば定量的に）測定すること。

なお、本校は新設途中でまだ実験室が完成しないので、この報告は実際に生徒実験をした報告ではなく、かわりに教育センターに於いてこの度のシリーズの関係者（加藤，岡，藤田ら）によって実験をしてもらい検討を加えた記録である。

(2) 材料と器具

- ・イトミミズ（泥とともに採集し、器に入れて水を少量加え、その器の直径より少し小さめな紙を沈め底の泥を覆って放置する。器の壁と沈めた紙との隙間にイトミミズが集合してくるので、泥と完全に分離して集めることができる。）
- ・0.1ml メスピペット 1.0ml メスピペット ガラスホモジナイザー（5ccまたは10cc用）
- ・万能攪拌器（ホモジナイズ用として使用する） 遠心分離器（2,000×Gまで得られるもので半径12cm程度のものであれば4,000rpmまででせるので充分である） 硬質ガラスのスπιツ
- ・試料皿（金属） 直視天秤（1mg測量可能のもの） ローリツツエン検電器
- ・三塩化酢酸（TCAと略す） オクチルアルコール ギ酸 エチルエーテル エチルアルコール ^{14}C -ロイシン（1回の実験につき0.5 μCi …… マイクロキュリー）

(3) 方法

1) 分画法と試料の作製

- ① 濾紙上にイトミミズの小塊をとり、およそ水を切る。そのうちから0.5gを計り、1.9mlの水を入れたビーカー中に入れ、 ^{14}C -ロイシン0.5 μCi - 0.1mlを正確に添加して12時間以上24時間に及ぶ時間内任意に放置する(室温中)。ロイシンは多少高価であるが生体内で確実にたんぱく質中に組込まれる。 ^{14}C -グリシンは値段は安いが生体中で糖分へも転換するので使用しない。
- ② 上記時間放置後10% TCA(三塩化酢酸)2mlをビーカー中に加えてホモジナイズに移る。(終濃度5% TCA水溶液)
- ③ 氷水中でゆっくりホモジナイザーを上下に約100回以上動かしながら充分ホモジナイズする。
- ④ 上の懸濁液をスピッツ(遠心管)に移し、不溶性分画が沈んでくるまで遠心分離する(約2,000 \times Gで3分以上)。次に上清分画(酸可溶性分画)を捨て、不溶性分画(主としてたんぱく分画)に5% TCAを5ml加えて充分攪拌して再び遠心分離する。
- ⑤ 不溶性分画に5% TCA 5ml加え、オクチルアルコール(表面活性剤)1~2滴添加して攪拌棒を入れたまま100°Cで10分boilすることにより核酸を加水分解して溶出させる。次に遠心分離して上清分画(核酸)を捨てる。
- ⑥ エタノール5mlを加えてよく攪拌して色素類を溶出させ、遠心分離する。上清分画(色素)を捨てる。もう一度同じことをくりかえすとなおよい。
- ⑦ エタノール(3容):エーテル(1容)の混液5ml加え50~60°C, 10分放置して脂質を溶出させ、遠心分離して上清分画(脂質)を捨てる。
- ⑧ 不溶性分画にギ酸を5ml加え ^{14}C -ロイシンの組込まれているたんぱく分画を溶解させ、遠心分離する。上清分画はたんぱく質を含み、不溶性分画は攪拌時に混じたガラス粉などを含む。
- ⑨ 上記上清分画を攪拌棒をつたわせて5~6滴試料皿にとり、赤外線ランプ下でギ酸を蒸発させる。自然蒸発でもよいが時間がかかる。試料皿中に残ったたんぱく質試料は約1~1.5mg程度となっているが定量測定を厳密に行いたいときは直視天秤で正確にmg単位まで秤量する。

2) 放射能活性の測定または検出

次の方法が考えられる。

- ① ローリツエン検電器による測定
定量測定が可能である。放射能活性が弱く測定しにくい時は試料の量を適当に増加する。
- ② ギ酸溶解の ^{14}C -たんぱく質を濾紙にしまして乾燥し、レントゲンフィルムと密着させ、暗室中で約1週間以上放置後フィルムを現象して ^{14}C の存在を検知する。
- ③ 大学施設利用可能な場合は、窓なしガスフローカウンタで測定させてもらう。

(4) 結果

1) 実験を実施してみて次の点に問題があった

① 実験時間について

一連の操作を完全におこなうと2時間単位で2回の実験時間が必要である。余裕がなく時間を短縮する場合には各段階の試料をあらかじめ作製しておき、生徒には各操作とその意味の理解にのみ集中させるようにした方がよい。

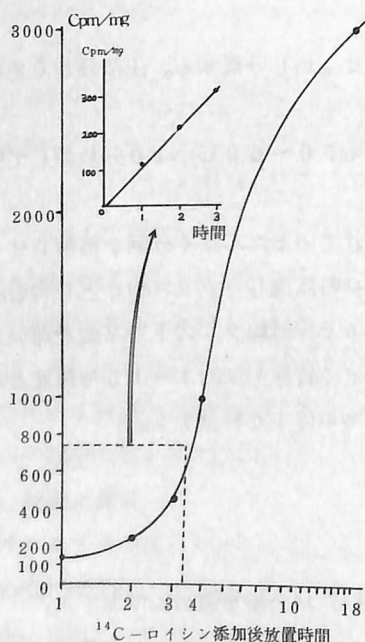
② 測定の手段について

^{14}C は弱い β 線を放出するので、ガイガーカウンターでは検出、測定できないのが難点である。ローリツェン検電器は α 線、 β 線の鋭敏な検出測定器であり、そう高価でもなく物理分野での使用にも有効と思われるので備えておきたい器具である。レントゲンフィルムに感光させて検出する場合は時間がかかるのでローリツェン検電器を使いたいのであるが、このような検出器のない場合はこの実験は不適当と考えられる。

③ ^{32}P （正リン酸として）を使用する実験の場合は、強い β 線を放出するので（ 1.707 MeV ）ガイガーカウンターでの検出や、レントゲンフィルムの感光など極めて容易である。しかし ^{32}P の半減期は14.3日と短く、したがって保存がきかないのが難点である。 ^{32}P の場合は酸溶性分画に主としてとりこまれる。

(3) まとめ

試料の測定は窓なしガスフローカウンターで行ない、比放射能（ cpm/mg ：たんばく試料1mgあたり1分間のカウント数）であらわしたものである。 ^{14}C —アミノ酸添加後4時間過ぎからイトミミズたん



ばく質分画へのとりこみが急上昇する。このことから ^{14}C —アミノ酸は経口的に消化管より体内に吸収されたんばく質に組込まれるのでないかと予想される。

○ 比放射能の算出

- 1分あたりのカウント数の測定： cpm
- 自然のバックグラウンドのカウント数を引く
- 自己吸収による補正をする（補正値を乗ずる）
- 以上の値を試料の重量（ mg ）で除する： cpm/mg

1) 放射性同位元素について

① 安全性の問題

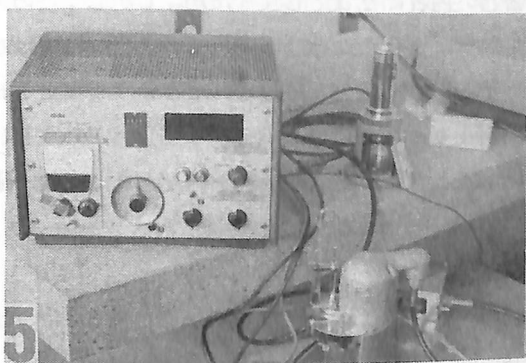
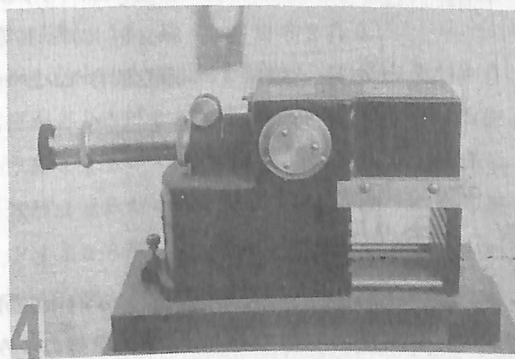
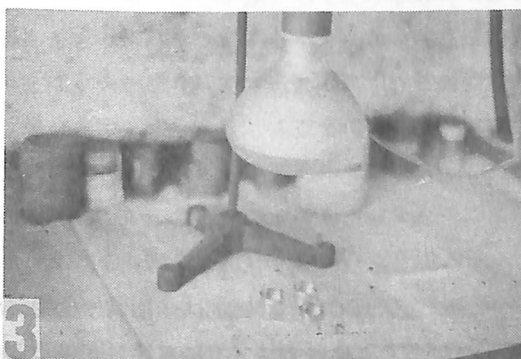
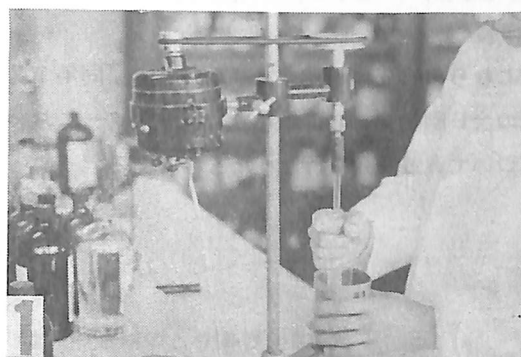
^{14}C は β 線放出核種（ 0.155 MeV ）であり、半減期 5560 ± 100 年である。アイソトープに関する法律で第4群に属し、 $100\text{ }\mu\text{Ci}$ 以下なら人体に対して安全と考えられ、特別の許可を必要としないで取扱うことができる。しかし経口的に人体に入らぬよ

う注意することが望ましい。通常の薬品と同様、上記の量以内なら実験室の流しに自由に捨てることができる。

② 入手経路について

新潟市旭町1，新潟大学放射性同位元素中央研究室（主任：清水泰二教授）に実費依頼して分けてもらえる。このほか ^{32}P （但し $10\text{ }\mu\text{Ci}$ 以下……第3群に属す）， ^3H （ただし $100\text{ }\mu\text{Ci}$ 以下……第4群に属す）などについても同様である。

この実験を計画するにあたって新潟大学教授 清水泰二先生にいろいろ御教示いただいたことに深く感謝を申し上げる。



1. 氷水中で、終濃度 5% TCA 水溶液中のイトミミズをホモジナイズする。
2. 放射性同位元素をくみこんだ各種化合物の例
左より、 ^{14}C -オロチン酸、 ^{14}C -グルコース
 ^{14}C -ロイシン
3. 試料皿中の試料を赤外線ランプで乾燥させる
4. ローリッツェン検電器、左よりのぞき中にみえる水晶針の移動速度 (division per minute) を読む
5. 右下：メタンガスまたはQガスを使用する窓なしガスフローカウンター
左上：ガスフローカウンターに接続している計数装置
右上：ガイガー計数管、試料を下の棚に入れパルスを左上の計数装置で読む

Ⅲ 研究経過

ページの関係で、あとさきになってしまったが、これらの研究は昭和44年5月より、同年12月までの間、県立村上女子高等学校、県立村松高等学校の全日制生徒ならびに県立教育センターにおいて、この度のシリーズの関係者（加藤，岡，藤田ら）について実践研究を行なったものである。

おもな研究日程は下記のとおりである。

5月13日	県立教育センター
6月 6日	"
8月 8日	"
9月22日	県立村松高等学校
9月25日	県立村上女子高等学校
12月 3日	県立教育センター
12月26日	"

Ⅳ おわりに

ここに述べた3つの実践研究は、いずれも非常にユニークな研究である。主題は一応高校生物実験における探究の試みとしてあるが、3人3様の歩み方をしていることに読者はすでにお気づきのことと思う。これは高校における生物の授業がいかにあらねばならぬかという、その苦闘の時代をむかえて、その悩みをここに赤裸裸におみせしたような非常に心苦しい内容になってしまったが、しかし、この実践研究を終って著者ら3人ともいずれもはればれとした気持ちになったことはいなめない。それは実にこの1年間を通じてたえず著者らの心を占めていた実践研究という課題から解放されたという事実とこれから訪れるであろう理科教育のあけぼのをむかえて、多少なりともその第1歩をふみだしたという喜びにほかならない。はなはだまとまらぬ実践研究であるが、読者おおかたのご批判をいただき、今後一層精進したいものと考え、この報告をおわる。

謝 辞

この研究をすすめるにあたり、県立村上女子高等学校校長 阿部芳男、県立村松高等学校校長 浅井祥朔、県立豊栄高等学校校長 田中政五郎の諸先生に対し、深くお礼申しあげる。